อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ที่เหมาะสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อ

Optimum Dietary n-3 to n-6 Fatty Acids Ratio for Abalone Growth (*Haliotis asinina*, Linne)

มนทกานติ ท้ามติ้น[1] สุพิศ ทองรอด[2] ชูชาติ ชัยรัตน์[3] และมะลิ บุณยรัตพลิน[4]

Montakan Tamtin[1], Supis Thongrod[2], Chuchart Chayarat[3], and Mali Boonyaratpalin[4]

บทคัดย่อ

ทดลองหาความต้องการกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ของหอยเป๋าฮื้อ (*Haliotis Asinina*, Linne.) น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 0.30±0.10 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ย 10.98±1.18 มิลลิเมตร ณ ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งเพชรบุรี โดยใช้อาหารทดลองที่มีอัตราส่วนโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 จำนวน 5 สูตร คือ 0.13, 0.19, 0.22, 0.35 และ 0.45 ตามลำดับ สูตรละ 3 ซ้ำ มีน้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งของกรดไขมันดังกล่าว และมีพลังงานรวมเฉลี่ย 392.97 กิโลแคลอรีต่ออาหาร 100 กรัม เลี้ยงหอยในกระชัง จำนวน 50 ตัวต่อกระชัง แขวนไว้ในบ่อปูนที่มีปริมาตรน้ำ 20 ตัน บำบัดน้ำด้วยสาหร่ายแบบระบบกึ่งปิด ให้หอยกินอาหารทดลองวันละ 1 ครั้ง จนอิ่มทุกวัน ทดลองเป็นระยะเวลา 36 สัปดาห์ ผลปรากฏว่าอัตราส่วนระหว่างโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 ในอาหารมีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักเพิ่ม และอัตราการให้อาหารเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) หอยที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 เท่ากับ 0.35 มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักเพิ่มสูงสุด และอัตราการให้อาหารดีกว่าหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 เท่ากับ 0.13 และ 0.19 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาหารที่มีอัตราส่วนโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 เท่ากับ 0.22 และ 0.45 มีค่าการเจริญเติบโตในระดับกลางและไม่แตกต่างทางสถิติจากอาหารสูตร 0.13, 0.19 และ 0.35 ($p>0.05$) สำหรับอัตรารอดตายและอัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองทั้ง 5 ชุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นอาหารที่มีกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 ในอัตราส่วน 0.35 จึงเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อ

คำสำคัญ : หอยเป๋าฮื้อ, อัตราส่วน n-3 : n-6

Abstract

The study on optimum dietary n-3 to n-6 ratio for abalone growth (*Haliotis asinina*, Linne) was conducted at Petchburi Coastal Feed Research Center using five formulated diets with 0.13, 0.19, 0.22, 0.35 and 0.45 n-3 to n-6 ratio each with 3 replictions with gross energy of 392.97 Kcal/100 g. A mixture of fish oil and soybean oil was used as the lipids source. The juvenile abalone, average body wet weight 0.30±0.10 g. and individual length 10.98±1.18 mm., were held in net cage with stocking density of 50 animals per cage hanging in concrete tank with 20 m^3 water volume. The semi-closed culture system was used and the rearing water was treated with ozone and seaweed. Abalone was fed to apparent satiation once daily for 36 weeks. Mean body wet weight, the weight gain and feeding rate of abalone were significantly ($p<0.05$) effected by the dietary n-3 to n-6 ratio. Abalone fed with 0.35 n-3 to n-6 ratio resulted in the highest mean body wet weight and weight gain and lowest feeding rate. These were significantly ($p<0.05$) better than those fed with 0.13 and 0.19 n-3 to n-6 ratio. Growth of abalone fed with 0.22 and 0.45 n-3 to n-6 ratio were intermediate and were not significant difference from those of 0.13, 0.19 and 0.35 n-3 to n-6 ratio ($p>0.05$). The survival rate and FCR were not significantly ($p>0.05$) different for all dietary n-3 to n-6 ratio. On the weight gain basis, the optimum dietary n-3 to n-6 ratio for abalone was 0.35.

Keyword : Abalone, n-3 to n-6 ratio

คำนำ

การพัฒนาการเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อให้เป็นอุตสาหกรรมนั้น การศึกษาเกี่ยวกับอาหารสำเร็จรูปมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน สามารถใช้ทดแทนสาหร่ายซึ่งเป็นอาหารธรรมชาติของหอยเป๋าฮื้อได้ ซึ่งองค์ประกอบหลักของอาหารนั้น นอกจากโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตแล้ว ไขมันก็เป็นสารอาหารที่มีบทบาทสำคัญทั้งในแง่พลังงานและเป็นโครงสร้างของร่างกาย ตลอดจนช่วยให้ระบบการทำงานในร่างกายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากประกอบด้วยวิตามินที่ละลายในไขมัน (NRC, 1983) ทั้งยังเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็นที่องค์ประกอบของเนื้อเยื่อและรักษาระดับความยืดหยุ่นของของเหลวในร่างกาย โดยสัตว์แต่ละชนิดมีความต้องการกรดไขมันแตกต่างกัน ในสัตว์น้ำนั้นมีความต้องการกรดไขมันทั้งในกลุ่มไลโนเลนิคหรือโอเมก้า 3 (n-3) และไลโนเลอิคหรือโอเมก้า 6 (n-6) ในอาหารสัดส่วนอาจต่างกัน สัตว์ทะเลและสัตว์เขตหนาว ความต้องการกรดไขมันกลุ่ม n-3 ต่อ n-6 ที่สูงกว่า สัตว์น้ำจืดและสัตว์เขตอบอุ่น (Castell *et al.*, 1972; Takeuchi and Watanabe, 1979) โดยสัตว์น้ำในเขตน้ำจืดและสัตว์เขตอบอุ่นนั้นอาจต้องการเฉพาะ n-6 เช่น *Tilapia zillii* (Kanazawa *et al.*, 1980) หรือทั้ง n-3 และ n-6 เช่น *Cyprinus carpio* หรือ *Anguilla japonica* (Takeuchi and Watanabe, 1977;

[1] ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี ต.แหลมผักเบี้ย อ.บ้านแหลม จ.เพชรบุรี/Petchburi Coastal Aquatic Feed Research Center

[2] สถาบันวิจัยอาหารสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง เขตจตุจักร กทม./Coastal Aquatic Feed Research Institute, Department of Fisheries

[3] ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งพังงา ต.ท้ายเหมือง อ.เมือง จ.พังงา Pangnga Coastal Fisheries Research and Development Center

[4] ที่ปรึกษากรมประมง กรมประมง เขตจตุจักร กทม./Department of Fisheries

Takeuchi *et al.*, 1980) จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากรดไขมันในกลุ่ม n-3 มีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อความไม่อิ่มตัวของไขมัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระดับความหนืดของของเหลวในร่างกาย อย่างไรก็ตาม การให้อาหารซึ่งมีทั้ง n-3 และ n-6 มีผลดีต่อการเจริญเติบโต โดย n-3 มีสำคัญกว่า n-6 (Trider and Castell, 1980) นอกจากนี้สัดส่วนของ n-3 และ n-6 ที่แตกต่างกันในเนื้อเยื่อหอยแต่ละชนิดสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการของกรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นกับสภาพแวดล้อมและชนิดของสัตว์น้ำ ปัจจุบันนี้ยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับสัดส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันทั้งสองกลุ่มนี้ (Ackman, 1983)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาอัตราส่วนกรดไขมันจำเป็นที่เหมาะสมในอาหารโดยมีน้ำมันปลาเป็นแหล่งของกรดไขมันกลุ่ม n-3 และน้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งของกรดไขมันกลุ่ม n-6

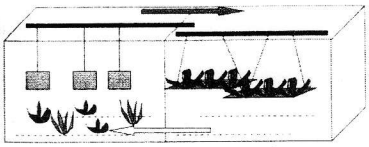
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

1. การเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ

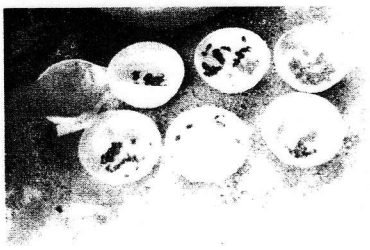
รับลูกพันธุ์หอยเป๋าฮื้ออายุประมาณ 140 วัน จากศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1,000 ตัว มาเลี้ยงไว้ 2 สัปดาห์ เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมใหม่ จากนั้นสุ่มหอยที่คัดขนาดแล้ว (รูปที่ 2) มีขนาดและน้ำหนักเริ่มต้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.30±0.10 กรัมต่อตัวและมีความยาวเฉลี่ย 10.98±1.18 มิลลิเมตรต่อตัว ความหนาแน่น 50 ตัวต่อกระชัง ภาชนะที่ใช้ในการใส่หอยทดลองประกอบขึ้นจากกระชังกันกลม กระชังที่ใช้เป็นหน่วยทดลองมีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ซม. สูง 55 ซม. และรูดปากกระชังเพื่อป้องกันหอยหลบหนี (รูปที่ 3) โดยแขวนกระชังในบ่อทดลองที่ระดับลึกจากผิวน้ำประมาณ 55 ซม.

2. ระบบบ่อทดลอง

ระบบบ่อทดลอง เป็นบ่อซีเมนต์ขนาดความจุ 25 เมตริกตัน ปริมาตรน้ำ 20 เมตริกตันและมีหลังคาคลุมซึ่งทำจากเส้นพลาสติกพรางแสง ให้อากาศผ่านท่อพีวีซีเจาะรู วางตามแนวยาว 2 ท่อ สูงจากพื้นบ่อประมาณ 30 ซม. ภายในบ่อมีสาหร่ายหลายชนิด (*Caulerpa lentillifera, Acanthophora spicifera* และ *Solieria robusta*) ช่วยในการบำบัดน้ำ ระหว่างบ่อทดลองไปยังบ่อเลี้ยงสาหร่ายที่อยู่ติดกันแล้วนกลับมาใช้ใหม่ (รูปที่ 1, 4 และ 5)



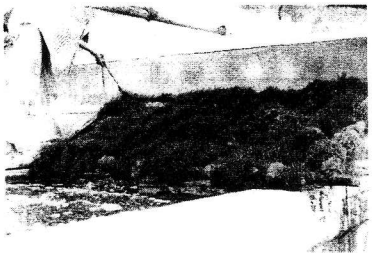
รูปที่ 1 แสดงระบบท่อทดลองประกอบด้วยบ่อเลี้ยงและบ่อบำบัดน้ำ



รูปที่ 2 การคัดขนาดลูกหอยเป๋าฮื้อตอนเริ่มต้นทดลอง

รูปที่ 3 กระชังอวนที่ใช้ใส่หอยเป๋าฮื้อระหว่างการทดลอง

รูปที่ 4 บ่อปูนที่ใช้แขวนกระชังเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ



รูปที่ 5 สาหร่าย (*Acanthophora spicifera*) ในบ่อบำบัดน้ำ

รูปที่ 6 ชั่งน้ำหนักหอยเป๋าฮื้อเพื่อคำนวณการเจริญเติบโตทุก 4 สัปดาห์

3. อาหารทดลอง

อาหารสำเร็จรูปผลิตจากสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งสงขลา มีน้ำมันปลาและน้ำมันถั่วเหลืองเป็นแหล่งไขมัน น้ำมันปลาผสม 0.0, 0.25, 0.57, 0.75 และ 1.0% โดยน้ำหนักแห้งอาหาร และสัดส่วนของกรดไขมันกลุ่ม n-3 ต่อ n-6 เป็น 0.13, 0.19, 0.22, 0.35 และ 0.45 ตามลำดับ โดยมีองค์ประกอบของสูตรอาหารตามตารางที่ 1 วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารอย่างหยาบด้วยวิธี AOAC 1980 และปริมาณและองค์ประกอบกรดไขมันด้วยวิธีของ Folch *et al.*, 1957 สกัดกรดไขมันโดยขบวนการ Transesterification (Christie, 1987) และวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันด้วยเครื่อง Gas liquid chromatography ยี่ห้อ Schimadzu model GA14 โดยใช้ Capillary column

ผลการวิเคราะห์กรดไขมันและองค์ประกอบทางเคมีในอาหาร (Proximate analysis) ดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ใช้น้ำมันปลาเป็นแหล่งกรดไขมันรวมกลุ่ม n-3 (total n-3) โดยน้ำมันปลามี total n-3 และ n-3 UHFA เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่สูง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันกลุ่ม n-3 และ n-6 ในอาหารทั้ง 5 สูตร ได้จากการแปรผันระดับน้ำมันปลาในอาหารเป็นหลัก สำหรับกรดไขมันรวมกลุ่ม n-6 (total n-6) จะคำนึงถึงปริมาณที่มีอยู่ในวัตถุดิบอาหารชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำมันถั่วเหลืองด้วย ซึ่งได้แก่ กากถั่วเหลือง สาหร่ายสไปรูไลน่า สาหร่ายผมนางและคอนกลูเทน เป็นโปรตีนจากพืชที่มีกรดไขมันชนิด 18 : 2n-6 เป็นหลัก โดยอาหารสูตรที่ 1 ถึง 5 มีสัดส่วนของไขมันกลุ่ม n-3 ต่อ n-6 ดังนี้ 0.13, 0.19, 0.22, 0.35 และ 0.45

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในอาหารมีโปรตีนประมาณ 41% คาร์โบไฮเดรต 46-47% ในขณะที่มีไขมันอยู่ในช่วงค่อนข้างกว้าง คือ 0.74-1.37% และมีพลังงานที่ย่อยได้อยู่ระหว่าง 388.3-396.2 กิโลแคลอรี่ต่ออาหาร 100 กรัม

4. แบบแผนการทดลองและการเก็บข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design, CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดทดลองตามสูตรอาหาร 5 สูตร โดยแต่ละชุดทดลองมี 3 ซ้ำ (กระชัง)

ให้อาหารครั้งเดียวในตอนเย็น ประมาณ 1-2% น้ำหนักแห้งอาหารต่อน้ำหนักตัว ปรับให้ตามความต้องการของหอย บันทึกอาหารที่กินจริงและจำนวนหอยตายแต่ละวัน สุ่มชั่งวัดขนาดของหอยเป็นรายตัว 30% ในตอนเริ่มต้นการทดลองและชั่งน้ำหนักรวมหอยเมื่อเริ่มต้น

ตารางที่ 1 สูตรอาหารหอยที่ใช้ในการทดลอง

สูตรอาหารที่	1	2	3	4	5
n3/n6	0.13	0.19	0.22	0.35	0.45
Soybean meal	44.1	44.1	44.1	44.1	44.1
Spirulina	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
สาหร่าย(นน.แห้ง)	5	5	5	5	5
Wheat gluten	10	10	10	10	10
Corn gluten	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Rice flour	27.89	27.89	27.89	27.89	27.89
Fish oil	0.0	0.25	0.58	0.75	1.0
Soybean oil	0	0.5	0.17	0	0
Vitamin C (monophosphate)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Vitamin mix*	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Mineral mix**	4	4	4	4	4
Choline Chloride(50%)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Cellulose	1	0.25	0.25	0.25	0
Vitamin E (50%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
BHT	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sum	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Energy* **	**374.20**	**381.29**	**381.29**	**381.29**	**383.65**

หมายเหตุ * Vitamin mix ประกอบด้วยวิตามินดังต่อไปนี้ ในปริมาณกรัมต่อกิโลกรัมวิตามินรวม Vitamin A&D 2.300, Vitamin E 80,Vitamin K_3 50% 26.000, Thiamin HCl 23.469, Riboflavin 25.000, Pyridoxin-HCl 54.545, Cyanocobalamin 0.6000, Vitamin C 85.714, Pantotenic acid 24.490, Niacin 37.071, Folic acid 2.100, Biotin 25.000, Inositol 98.00 และ Choline Chloride 50%300

** Mineral mix ประกอบด้วยแร่ธาตุดังต่อไปนี้ ในปริมาณกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร $Ca(H_2PO_4)2\ H_2O$ 10, $NaH_2PO_4\ 2H_2O$ 15, KH_2PO_4 10 และ KCl 5

*** Estimated Energy (Kcal/อาหาร 100 กรัม)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในอาหารหอยเป๋าฮื้อ

ชนิดของกรดไขมัน	สูตรอาหาร				
	1	2	3	4	5
12 : 0	5.81	5.01	4.63	4.26	3.61
14 : 0	3.62	2.84	3.19	3.30	2.86
16 : 0	23.57	22.97	24.19	24.59	25.32
18 : 1n-9	15.99	18.26	17.94	16.71	17.49
18 : 2n-6	37.35	36.16	34.54	27.50	26.56
18 : 3n-6	5.72	4.80	4.58	4.39	4.86
18 : 3n-3	4.40	3.84	3.44	2.74	2.91
18 : 4n-3		0.49	0.44	0.54	0.87
20 : 1n-9	0.75	0.92	0.88	0.81	1.22
20 : 4n-6		0.36	0.50	0.55	0.75
20 : 5n-3	0.28	0.57	0.93	1.54	1.84
22 : 5n-6				0.60	0.44
22 : 6n-3		2.08	2.78	5.32	6.98
Total n-3	**4.68**	**6.98**	**7.59**	**10.13**	**12.60**
n-3HUFA	**0.28**	**2.65**	**3.72**	**6.86**	**8.82**
Total n-6	**37.35**	**36.52**	**35.04**	**28.65**	**27.75**
n-3/n-6	**0.13**	**0.19**	**0.22**	**0.35**	**0.45**

การทดลองและในระหว่างการทดลองทุก 4 สัปดาห์ เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต (รูปภาพที่ 5 และ 6) ในระหว่างศึกษามีการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้านความเค็ม อุณหภูมิ ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ความเป็นกรดด่าง (pH) ความเป็นด่าง (Alkalinity) แอมโมเนียรวม และไนไทรต์สัปดาห์ละครั้ง ความแตกต่างของอุณหภูมิในรอบวันจะมีการวัดทุกวัน

สูตรการคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ มีดังนี้

น้ำหนักหอยที่เพิ่มขึ้น (%)

$$= \frac{(\text{น้ำหนักหอยสุดท้าย} - \text{น้ำหนักหอยเริ่มต้น}) \times 10}{\text{น้ำหนักหอยเริ่มต้น}}$$

ค่าอัตราแลกเนื้อ (FCR)

$$= \frac{\text{ปริมาณอาหารที่หอยกินระหว่างการทดลอง}}{\text{น้ำหนักหอยที่เพิ่มขึ้น}}$$

อัตรารอดตาย (%)

$$= \frac{\text{จำนวนหอยที่เหลือ} \times 100}{\text{จำนวนหอยเริ่มต้นทดลอง}}$$

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ความแตกต่างระหว่างชุดทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way analysis of variance; ANOVA) เมื่อพบความแตกต่างจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดทดลองด้วยวิธี Tukey Test (Sokal and Rohlf, 1981)

6. สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

ทดลองที่ศูนย์วิจัยและทดสอบพันธุ์สัตว์น้ำ จังหวัดเพชรบุรีเป็นเวลา 36 สัปดาห์

ผลการศึกษา

คุณภาพน้ำในระหว่างการทดลอง พบว่าความเค็มอยู่ในระดับ 28±1.6 ppt ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 8.15±0.09, ความเป็นด่าง (Alkalinity) 122.7±9.38 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียรวม 0.056±0.026 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไทรต์ 0.017±0.014 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ประมาณ 9 โมงเช้ามีค่า 6.54±1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิน้ำในรอบวันไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 24.75-28.38 °C

อัตรารอดตายและการเจริญเติบโต

ผลจากอาหารทดลองทั้ง 5สูตร ที่มีต่อหอยเป๋าฮื้อ ในตารางที่ 4 และ 5 และรูปภาพที่ 8 หอยเริ่มตายสัปดาห์ที่ 8 ของการเลี้ยง และจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA และ Tukey test ในแต่ละช่วงเวลาของการเลี้ยง (ช่วงละ 4 สัปดาห์) แสดงให้เห็นว่าอัตรารอดตายระหว่างสูตรอาหาร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในสัปดาห์ที่ 8, 16, 20 และ 24 โดยในสัปดาห์ที่ 8 และ 16 หอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 มีอัตรารอดตายดีกว่าสูตร 5 และในสัปดาห์ที่ 20 และ 24 มีอัตรารอดตายดีกว่าทั้ง สูตร 1 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว สูตร 4 มีอัตรารอดตายไม่แตกต่างจากสูตร 2 ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่พบความแตกต่างของอัตรารอดตายระหว่างชุดการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาด้วย ANOVA และ Tukey test พบว่าสูตรอาหารทดลองมีผลต่อการเจริญเติบโตทั้งสองรายการ คือน้ำหนักเฉลี่ยรายตัว (กรัมต่อตัว) และน้ำหนักเพิ่ม (%) โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างสูตรอาหาร ในสัปดาห์ที่ 32 และสัปดาห์ที่ 36 ($p<0.05$) การแบ่งกลุ่มของสูตรอาหารจากผลที่ได้พบว่าอาหารสูตรที่ 4 มีการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักเพิ่มดีที่สุด และดีกว่าอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาหารสูตรที่ 5 และ 3 มีค่าการเจริญเติบโตในระดับกลางและไม่แตกต่างทางสถิติจากสูตรอาหารที่ 1, 2 และ 4 ($p>0.05$)

คุณค่าของอาหารและอัตราส่วนที่เหมาะสมของกรดไขมันกลุ่ม n-3 ต่อ n-6

ในระหว่างการทดลองมีการปรับปริมาณอาหารให้เพียงพอกับความต้องการของหอย ปริมาณอาหารสะสมตั้งแต่เริ่มต้นทดลองจนสิ้นสุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในระหว่างสูตรอาหาร ($p<0.05$) และเมื่อวิเคราะห์ผลจากปริมาณอาหารที่หอยกินจริง คิดเป็น

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมี (Proximal Analysis) อาหารสำเร็จรูปที่ใช้ทดลอง

สูตรอาหาร	โปรตีน	ไขมัน	ไฟเบอร์	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	GE (Kcal/100g)
1	41.18	0.74	4.50	7.83	45.74	388.32
2	41.00	1.15	3.90	7.93	46.03	392.54
3	40.72	1.10	3.45	7.91	46.83	394.05
4	41.60	1.06	3.59	7.90	45.86	393.74
5	40.62	1.37	3.46	7.73	46.83	396.18

รูปที่ 7 หอยเป๋าฮื้อที่ได้รับอาหารทดลอง

ร้อยละของน้ำหนักหอยทดลองพบว่า อัตราการกินอาหารเฉลี่ยเริ่มแตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 32 ($p<0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 36 อาหารสูตรที่ 4 มีอัตราการกินอาหารต่ำสุดคือ 1.04% และแตกต่างจากอาหารสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งมีอัตราการกินอาหารสูงสุดคือ 1.06% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนอาหารสูตรที่ 3 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบสูตรอื่นแล้วมีค่าการกินอาหารในระดับปานกลางคือ 1.05 % และไม่แตกต่างทางสถิติจากสูตรอื่นๆ ($p>0.05$) เมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่พบความแตกต่างทางสถิติของค่า FCR ในระหว่างสูตรอาหาร ($p>0.05$)

ผลของอัตราส่วนกรดไขมัน n-3 ต่อ n-6 ในอาหารต่อองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอย

องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อหอยเป๋าฮื้อเมื่อสิ้นสุดการทดลองแสดงในตารางที่ 5 จากผลการวิเคราะห์ พบว่าน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีนและปริมาณโดยรวมของคาร์โบไฮเดรต เถ้าและเยื่อใยของหอยเป๋าฮื้อไม่มีความแตกต่างระหว่างชุดทดลอง ($p>0.05$) แต่ปรากฏความแตกต่างในด้านปริมาณไขมันระหว่างชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยมีแนวโน้มลดลง เมื่อ n-3 ต่อ n-6 มีค่าเพิ่มขึ้นในอาหาร

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อหอยแสดงในตารางที่ 6 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ทั้งในด้านปริมาณกรดไขมันรวมกลุ่ม n-3 (total n-3) กลุ่ม n-6 (total n-6) กลุ่ม n-9 (total n-9) และ n-3 HUFA พบว่าหอยเป๋าฮื้อมี total n-6 ในสัดส่วนที่สูง (28-33%) รองลงมาคือ total n-9 (19-20%) และ total n-3 (10-13%) ตามลำดับ โดยในกลุ่ม total n-3 นี้เป็นกรดไขมัน n-3 HUFA ถึง 8-11% ได้แก่ 22 : 6n-3, 22 : 5n-3 และ 20 : 5n-3 ตามลำดับ นอกจากนี้ปริมาณ total n-3 และ n-3 HUFA ในเนื้อหอยมีการสะสมอยู่ในระดับที่สูงกว่าในอาหาร ซึ่งมี total n-3 เป็น 5-13% และ n-3 HUFA เป็น 0.28-8.82% ตามลำดับ สำหรับสัดส่วนของ total n-3, total n-9, n-3 HUFA และ n-3 ต่อ n-6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน n-3 ต่อ n-6 ที่เพิ่มขึ้นในอาหาร และค่า n-3 ต่อ n-6 ในหอยซึ่งได้รับอาหารสูตร 5 นั้นไม่แตกต่างจากสูตร 4 ($p>0.05$) แต่มากกว่าสูตร 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และปริมาณการสะสมของ total n-6 ในเนื้อหอยแสดงผลในทางกลับกันกับ toatal n-3, n-3 HUFA และ n-3 ต่อ n-6 โดยปริมาณ total n-6 มีค่าลดลงเมื่อ n-3 ต่อ n-6 ในอาหารมีค่าเพิ่มขึ้น หรือเมื่อ total n-6 ในอาหารลดลง ทั้งนี้หอยซึ่งได้รับอาหารสูตร 1 มี total n-6 สูงสุดคือ 33.22% และมากกว่าสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ในกรดไขมัน เนื้อหอยมีองค์ประกอบหลักคือ 16 : 0, 18 : 1n-9 และ 18 : 2n-6 ซึ่งมีค่าระหว่าง 22-24%, 14-15% และ 16-21% ตามลำดับ ซึ่งกรดไขมันที่ได้รับผลจาก n-3 ต่อ n-6 ในอาหาร ได้แก่ กรดไขมันชนิด 18 : 1n-9, 18 : 2n-6, 20 : 5n-3 และ 22 : 6n-3 มีค่าแตกต่างกันระหว่างชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาจากค่านัยสำคัญพบว่า กรดไขมันที่ได้รับผลจากอาหารอย่างเด่นชัดคือ 18 : 2n-6 ($p=0.0003$) และ 22 : 6n-3 ($p<0.0001$) ทั้งนี้ 18 : 2n-6 มีแนวโน้มลดลงเมื่อ n-3 ต่อ n-6 เพิ่มขึ้นหรือเมื่อ 18 : 2n-6 ในอาหารลดลง ในทางกลับกัน 22 : 6n-3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน n-3 ต่อ n-6 ที่เพิ่มขึ้น

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

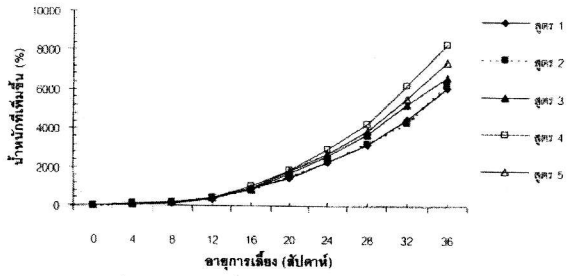
การเพิ่มอัตราส่วนของกรดไขมัน n-3 ต่อ n-6 ในอาหารทำให้หอยเป๋าฮื้อมีอัตราการกินอาหารการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีขึ้น โดยอัตราส่วน n-3 ต่อ n-6 ที่เหมาะสมที่สุดต่อหอยเป๋าฮื้อมีค่าเท่ากับ 0.35 ซึ่งมีอัตราการกินอาหารต่ำสุด แต่ทำให้หอยเป๋าฮื้อมีอัตราการเจริญเติบโตในด้านน้ำหนักเพิ่มสูงถึง 8304.72% และมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว 26.33 กรัม

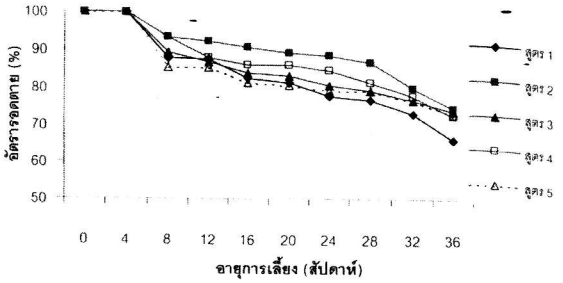
สำหรับองค์ประกอบทางเคมีในอาหารของหอยเป๋าฮื้อนั้น พบว่ามีระดับไขมันเพียง 0.7-1.4% ซึ่งต่ำกว่าระดับไขมันในอาหารทดลองเรื่องระดับโปรตีนที่เหมาะสม (มนทกานติ และคณะ, 2545) และชนิดไขมัน (ชูชาติและคณะ, 2545) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 7.8-9.6% และ 6.7-7.6% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลการเจริญเติบโตจากการทดลองนี้ทั้งสองการทดลองสูงกว่าข้างต้น และสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องอัตราส่วนไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม (Thongrod *et al.*, 2003) ทั้งนี้ระดับพลังงานเฉลี่ยของการทดลองนี้มีค่าประมาณ 393 กิโลแคลอรีต่ออาหาร 100 กรัม มีแหล่งพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักซึ่งมีค่า 46-47% แสดงว่าหอยเป๋าฮื้อมีความต้องการไขมันใน

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโต อัตรารอดตายของหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3 : n-6 ต่างกัน 5 สูตร เป็นเวลานาน 36 สัปดาห์ (X±SD)

สูตรที่	n3/n6	น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม)		อัตราการเจริญเติบโต	อัตรารอดตาย	ปริมาณอาหารรวม	อัตราการให้อาหารเฉลี่ย	อัตราแลกเนื้อ
		เริ่มต้น	36 สัปดาห์	(%)	(%)	(กรัม)	(%/วัน)	(FCR)
1.	0.13	0.31 ± 0.00^{a}	19.47 ± 1.56^{b}	6090.48 ± 529.42^{b}	66.00 ± 8.72^{a}	547.54 ± 110.50^{a}	1.06 ± 0.01^{b}	0.87 ± 0.06^{a}
2.	0.19	0.31 ± 0.00^{a}	20.00 ± 0.26^{b}	6279.27 ± 86.79^{b}	74.67 ± 7.57^{a}	606.77 ± 34.91^{a}	1.06 ± 0.01^{b}	0.84 ± 0.10^{a}
3.	0.22	0.31 ± 0.00^{a}	21.00 ± 3.03^{ab}	6621.1 ± 988.69^{ab}	74.00 ± 5.29^{a}	627.56 ± 68.74^{a}	1.05 ± 0.01^{ab}	0.83 ± 0.06^{a}
4.	0.35	0.31 ± 0.00^{a}	26.33 ± 3.35^{a}	8304.72 ± 971.66^{a}	72.67 ± 5.03^{a}	736.53 ± 53.13^{a}	1.04 ± 0.01^{a}	0.79 ± 0.02^{a}
5.	0.45	0.31 ± 0.00^{a}	23.66 ± 1.27^{ab}	7423.25 ± 459.48^{ab}	73.33 ± 3.06^{a}	658.35 ± 28.30^{a}	1.05 ± 0.01^{ab}	0.77 ± 0.02^{a}
ANOVA								
P		**0.927**	**0.0175**	**0.0158**	**0.4787**	**0.0558**	**0.0333**	**0.3565**
F		**0.210**	**5.0277**	**5.1989**	**0.9422**	**3.3328**	**4.0440**	**1.2350**

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)





รูปที่ 8 การเจริญเติบโตโดยค่าน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่ม (ก) และอัตรารอดตาย (ข) ของหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3 : n-6 ต่างกัน 5 ระดับเป็นระยะเวลานาน 36 สัปดาห์

ปริมาณต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Fleming *et al.*, 1996 และค่าปริมาณไขมันในอาหารธรรมชาติ เช่น สาหร่ายหนาม (0.5%) สาหร่ายผมนาง (0.34%) และสาหร่ายฮิบเนีย (0.05%) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีกับหอยจากธรรมชาติ ซึ่งมีระดับโปรตีน 73% และไขมัน 3.3% (มะลิและสุพิศ, ระหว่างตีพิมพ์) พบว่าระดับโปรตีนสูงสุดของหอยจากการทดลอง (63%) นี้ต่ำกว่าหอยในธรรมชาติ แต่มีระดับไขมันสูงกว่า (3.81-4.83%) นอกจากนั้นพบว่าโปรตีนในเนื้อหอยจากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าในชุดทดลองเรื่องอัตราไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าโปรตีนในเนื้อหอยอยู่ระหว่าง 67-71% และเมื่อไขมันในอาหารต่ำ (1.3%) มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในเนื้อหอยลดต่ำลงด้วย ผลวิจัยในชุดอัตราส่วนกรดไขมัน n-3 ต่อ n-6 ที่เหมาะสมซึ่งมีระดับไขมันในอาหารที่ต่ำมากอยู่ระหว่าง 0.74-1.37% อาจเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับโปรตีนในเนื้อหอยเป๋าฮื้อต่ำกว่าที่พบในหอยเป๋าฮื้อจากธรรมชาติ

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3:n-6 ต่างกัน 5 สูตร เป็นเวลานาน 36 สัปดาห์ (X±SD)

สูตรที่	n-3/n-6	น้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสด (%)	องค์ประกอบ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) โปรตีน	ไขมัน	เถ้า, ไฟเบอร์และคาร์โบไฮเดรต
1.	0.13	25.12±0.10[a]	62.28±1.84[a]	4.83±0.19[a]	32.89±1.83[a]
2.	0.19	26.06±0.60[a]	60.37±2.01[a]	4.33±0.35[ab]	35.30±2.22[a]
3.	0.22	25.24±0.56[a]	59.82±1.60[a]	4.09±0.11[b]	36.08±1.57[a]
4.	0.35	25.31±0.17[a]	63.09±2.06[a]	4.25±0.05[b]	32.65±2.01[a]
5.	0.45	25.44±0.62[a]	60.18±1.10[a]	3081±0.15[b]	36.01±1.02[a]
ANOVA					
P		0.2005	0.1656	0.0012	0.0933
F		1.8259	2.0321	10.8583	2.6883

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของหอยเป๋าฮื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารที่มีอัตราส่วนกรดไขมัน n-3 ต่อ n-6 ต่างกัน 5 สูตร เป็นเวลานาน 36 สัปดาห์ (x±SD)

สูตร	1	2	3	4	5
14:0	0.68±0.06	0.71±0.05	0.73±0.06	0.79±0.10	0.71±0.04
15:0	0.80±0.12	0.78±0.03	0.82±0.04	0.83±0.05	0.78±0.03
16:0	22.24±0.73	23.19±0.63	23.86±0.83	24.43±0.54	23.67±1.45
18:0	2.88±0.23	4.09±2.13	2.79±0.27	2.85±0.30	3.49±0.33
18:1n-9	14.24±0.41[b]	14.27±0.14[b]	15.37±0.25[a]	15.04±0.12[ab]	14.98±0.47[ab]
18:2n-6	21.28±0.93[a]	19.67±1.28[ab]	18.04±0.60[bc]	17.12±0.79[c]	15.93±0.88[c]
18:3n-3	0.78±0.20	0.74±0.07	0.81±0.04	0.66±0.05	0.71±0.08
20:1n-9	4.76±0.24	4.67±0.33	4.86±0.17	4.78±0.27	4.83±0.42
20:4n-6	4.42±0.31	3.85±0.18	4.06±0.14	4.15±0.14	4.08±0.30
20:5n-3	1.64±0.38[ab]	1.53±0.09[b]	1.89±0.16[ab]	2.57±0.48[a]	2.49±0.48[ab]
22:4n-6	6.48±0.59	6.43±0.55	6.75±0.21	6.21±0.46	6.75±0.80
22:5n-3	3.82±0.24[a]	3.44±0.70[ab]	3±0.19[ab]	2.61±0.20[b]	2.83±0.43[ab]
22:5n-6	1.05±0.10	0.90±0.44	0.84±0.14	0.94±0.26	1.16±0.27
22:6n-3	2.19±0.11[d]	3.39±0.42[c]	4.15±0.27[bc]	4.47±0.34[b]	5.48±0.16[a]
Total n-3	9.74±0.27[b]	10.33±1.03[b]	10.98±0.05[ab]	11.44±0.61[ab]	12.52±0.75[a]
n-3HUFA	7.66±0.24[c]	8.37±1.06b[a]	9.04±0.07[abc]	9.64±0.54[ab]	10.80±0.91[a]
Total n-6	33.22±0.74[a]	30.85±0.40[b]	29.68±1.04[bc]	28.42±0.72[c]	27.93±0.35[c]
Total n-9	19.00±0.18[b]	18.94±0.38[b]	20.23±0.29[a]	19.82±0.38[a]	19.81±0.11[a]
n-3/n-6	0.29±0.02[d]	0.33±0.04[cd]	0.37±0.01[bc]	0.40±0.02[ab]	0.45±0.02[a]

หมายเหตุ 1) ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกัน แสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

2) ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่ไม่มีอักษรกำกับ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

องค์ประกอบกรดไขมันในเนื้อหอยแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอาหารที่มีต่อการสะสมของกรดไขมันในหอย โดย n-3, n-3 HUFA, n-6, n-3 ต่อ n-6 และกรดไขมันชนิด 18 : 2n-6 และ 22 : 6n-3 มีการสะสมในเนื้อหอยตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในอาหาร อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา total n-3 และ n-3 HUFA ในเนื้อหอย มีค่ามากกว่าปริมาณที่มีอยู่ในอาหาร แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของกรดไขมันชนิดนี้ที่ถูกสะสมไว้เพื่อการเจริญเติบโต (สุพิศและคณะ, 2544) ถึงแม้ว่าองค์ประกอบหลักของกรดไขมันในเนื้อหอยจากการทดลองนี้จะสอดคล้องกับหอยในธรรมชาติ แต่ปริมาณ 18 : 2n-6 (16-21%) มีค่ามากกว่าหอยธรรมชาติซึ่งมี 18 : 2n-6 6% ถึง 3 เท่า สอดคล้องกับอาหารธรรมชาติ เช่น สาหร่ายผมนางหรือสาหร่ายหนามที่ใช้เป็นอาหารหอยเป๋าฮื้อนั้นมีค่ากรดไขมัน 18 : 2n-6 เพียง 0.37 และ 1.27% ตามลำดับ (มะลิและสุพิศ, อยู่ระหว่างตีพิมพ์) ในขณะที่อาหารทดลองมีค่า 18 : 2n-6 ระหว่าง 26-37% ของน้ำมัน โดยมีแหล่งของกรดไขมันชนิดนี้จากน้ำมัน

ถั่วเหลืองและโปรตีนจากพืช ในทางตรงกันข้ามกรดไขมัน 20 : 4n-6 ในหอยเป๋าฮื้อจากการทดลองมีค่าเพียง 4% ซึ่งต่ำกว่าในหอยเป๋าฮื้อจากธรรมชาติซึ่งมีกรดไขมัน 20 : 4n-6 เท่ากับ 7%

แสดงให้เห็นว่าหอยเป๋าฮื้อไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันชนิด 18 : 2n-6 เป็น 20 : 4n-6 เช่นเดียวกับปลาทะเลทั่วไป (Kalogeropoulos *et al.*, 1992) โดยปลาทะเลไม่มีเอนไซม์ -5 desaturase ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยน 18:2n-6 ในอาหารทุกสูตรได้มาจากน้ำมันซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับน้ำมันปลาที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ในอาหารทดลองที่ไม่เติมน้ำมันปลานั้นจะทำให้ขาดกรดไขมันชนิดนี้ในอาหาร จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หอยมีอัตรารอดตายต่ำกว่าสูตรอื่นๆ

ในเนื้อหอยเป๋าฮื้อทุกสูตรอาหารทดลอง พบกรดไขมันชนิด 22 : 5n-3 ในปริมาณสูง แสดงถึง path way ของกรดไขมันกลุ่ม n-3 คือมีการสังเคราะห์กรดไขมันชนิด 20 : 5n-3 เป็น 22 : 5n-3 แต่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์กรดไขมันชนิด 22 : 5n-3 เป็น 22 : 6n-3 อาจจะต่ำทำให้ปริมาณกรดไขมัน 22 : 5n-3 สะสมอยู่ในเนื้อสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับ 22 : 6n-3 (Sargent *et al.*, 1993)

สำหรับหอยเป๋าฮื้อซึ่งได้รับอาหารที่มีสัดส่วนของ n-3 ต่อ n-6 เหมาะสมที่สุดคือ 0.35 นั้น มีสัดส่วนดังกล่าวในเนื้อหอย 0.40 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าหอยจากธรรมชาติ (0.74) เกือบ 2 เท่า ทั้งที่ total n-3 และ n-3 HUFA มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณ total n-6 ซึ่งมีค่าสูงถึง 28.42% และมากกว่าหอยจากธรรมชาติซึ่งมีค่า 18.63%

จากผลการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย และองค์ประกอบกรดไขมันในหอยเป๋าฮื้อ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของกรดไขมันทั้ง 2 กลุ่มนี้ โดย n-3 อาจมีความสำคัญกว่า ซึ่ง Uki *et al.*, 1986 รายงานว่าหอยเป๋าฮื้อชนิด *Haliotis discus hannai* ต้องการทั้ง n-3 และ n-6 โดยเฉพาะ n-3 HUFA เป็นกรดไขมันจำเป็นในสัตว์ทะเลหลายชนิด (Cowey *et al.*, 1976; Ackman, 1983; Chu and Webb, 1984) รวมทั้งหอยเป๋าฮื้อ (Uki *et al.*, 1986) อย่างไรก็ดีอัตราส่วนระหว่าง n-3 ต่อ n-6 น่าจะมีความสำคัญกว่าค่าปริมาณของ n-3 หรือ n-6 อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ n-3 ต่อ n-6 ที่มากกว่า 0.35 มีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง

เอกสารอ้างอิง

ชูชาติ ชัยรัตน์ สุพิศ ทองรอด. มนกานติ ท้ามดิ้น และมะลิ บุณยรัตผลิน. 2545. ชนิดของไขมันที่เหมาะสมในอาหารต่อการเจริญเติบโตของหอยเป๋าฮื้อ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 26/2545, สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

มะลิ บุณยรัตผลิน และสุพิศ ทองรอด. ยังไม่ตีพิมพ์. องค์ประกอบทางเคมี กรดไขมัน และกรดอะมิโนของวัสดุอาหารที่ใช้ในสูตรทดลองอาหารสำเร็จหอยเป๋าฮื้อ. รายงานผลโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาอาหารสำเร็จเพื่อการผลิตหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์.

มนกานติ ท้ามดิ้น ชูชาติ ชัยรัตน์ สุพิศ ทองรอด และมะลิ บุณยรัตผลิน. 2545. ระดับโปรตีนที่เหมาะสมในอาหารหอยเป๋าฮื้อ. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2545, สถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดเพชรบุรี, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

สุพิศ ทองรอด ชูชาติ ชัยรัตน์ มนกานติ ท้ามดิ้น และอนันต์ ตันสุตะพานิช. 2544. ผลของสาหร่ายผมนาง (*Gracilaria fisheri*) และสาหร่ายหนาม (Acanthophora spicifera) ต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของหอยเป๋าฮื้อ (*Haliotis asinina*, Linne). เอกสารวิชาการฉบับที่ 1/2544, กองเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. กรมประมง.

Ackman, R.G., 1983. Fatty acid metabolism of bivalves. In: Pruder, G.D., Langdon, C. and Conklin, D. (eds.), Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition. Proceedings of the second conference on aquaculture mutrition. Louisiana State University Press, Baton Rouge, pp. 358-376.

AOAC, 1980. Official methods of analysis association of official analytic chemists, Washington D.C. 1018 pp.

Castell, J.D., Sinnhuber, R.O., Wales, J.H. and Lee, D.J., 1972. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo garirdneri*): Metabolism and fatty acid composition. Journal of Nutrition, 102:93-100.

Christie, W.W.1987. Lipid analysis (2nd Edition). Pergamon Press. Oxford. 207 pp.

Chu, F.-L.E. and Webb, K.L., 1984. Polyunsaturated fatty acids and neutral lipids in developing larvae of the oyster, *Crassostrea virginica*. Lipids, 19 (11):815-820.

Cowey, C.B., Owen, J.M., Adron, J.W. and Middleton, C., 1976. Studies on thenutrition of marine flatfish. The effect of dietary fatty acids on the growth and fatty acid composition of turbot (*Scophthalmus maximus*). Br. J. Nutr., 36:479-486.

Fleming, A. E., Van Barneveld, R. J. and Hone, P. W. 1996. The development of artificial diets for abalone; A review and furture directions. Aquaculture 140, 5-53.

Folch, J., M. Lees and G.H.S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids in animal tissues. J. Biol. Chem., 226:497-506.

Kalogeropoulos, N., Alexis, M. N. and Handerson, R. J. 1992. Effects of dietary soybean and cod-liver oil levels on growth and body composition of gilthead bream (*Sparus aurata*). Aquaculture, 104: 293-308.

Kanazawa, A., Teshima, S.I., Sakamoto, M. and Awai, M.A., 1980. Requirements of *Tilapia zilli* for essential fatty acids. Bulletin of Japanes Society of Scientific Fisheries, 46:1353-1356.

NRC., 1983. Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. Rev. ed. Of:Nutrient requirements of warmwater fishes., 1979. Board on Agriculture. National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C., UA., 102 p.

Sargent, J.R., Bell, J.G., Bell, M.V., Henderson, R.J. and Tocher, D.R. 1993. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. *In:* Lahou, B. and Vitiello, P. (eds), Coastal and estuarine Studies. Aquaculture: Fundemental and Applied Research. American Geographical Union, Washington, 43:103-124.

Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. 1981. Biometry, 2nd. W.H. Freeman and Company. New York.

Takeuchi, S. and Watanabe, T., 1977. Studies on nutritive of dietary lipids in fish. VIII. Requirements of carp for essential fatty acids. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 43: 541-551.

Takeuchi, T. and Watanabe T., 1979. Studies on nutritive value of dietary lipidd in fish. XIX. Effects of excess amounts of essential fatty acids and growth of rainbow trout. Buttetin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 45: 1517-151519.

Takeuchi, T, Arai, S., Watanabe, T. and Shimma, Y., 1980. Studies on nutritive of dietary lipids in fish. XXI. Requirements of eel *Anguilla japonica* for essential fatty acids. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries. 46: 345-353.

Thongrod, S., M. Tamtin, C., Chairat and M. Boonyaratpalin. 2003. Lipid to carbohydrate ratio in donkey's ear abalone. Aquaculture, 225:165-174.

Trider D.J. and Castell, J.D., 1980. Effect of dietary lipids on growth, tissue composition and metabolism of the oyster (*Crassostrea virginica*). Journal of Nutrition, 110:1303-1309.

Uki, N., Sugiuru, M. and Watanabe, T. 1986. Requirement of essential fatty acids in the abalone Haliotis discus hannai. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 52(6) 1013-1023.